2Ц

УДК 658.012.011.56

В.Е. Цыганаш
Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

Анализ и решение задачи выбора предпочтительной инициативы при управлении мощной электротермической установкой

В статье сформулированы и проанализированы основные проблемы решения задачи выбора предпочтительной инициативы при управлении мощной электротермической установкой; рассмотрены факторы, позволяющие решить задачу; предложен вариант метода разделения движений, который был опробован в промышленных условиях на дуговой сталеплавильной печи.

Постановка задачи

Одной из задач при производстве стали в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) является увеличение доли лома, но она порождает большое количество проблем, связанных с интенсификацией теплообмена в рабочем пространстве печи. Период расплавления такой шихты сопровождается частыми обрывами дуг, короткими замыканиями, смещениями крупных кусков лома, поломками электродов. Положение усугубляется еще и тем, что современная ДСП является трехфазным агрегатом без нулевого провода, поэтому всякое изменение режима в одной из фаз вызывает нарушения режима в других фазах. В этих условиях штатные системы автоматического регулирования (САР) электродов становятся малоэффективными, а человек-оператор из-за ограниченности своих возможностей вынужден принимать решения с запаздываниями, т.е. по устаревшей информации. В результате из-за большого уровня неопределенности при решении задачи выбора оптимального рабочего режима агрегата происходят сбои в типичной схеме действия человека-оператора [1]:

– обнаружение изменения регулируемых переменных (входных сигналов – тока и напряжения);

– формирование программы двигательных реакций (управляющих воздействий, связанных с выбором рабочей точки агрегата в целом);

– осуществление контроля и корректировки этих реакций.

Все это ведет к значительному перерасходу электроэнергии, увеличивает число поломок электродов. Так, для ДСП-12 перерасход электроэнергии может достигать 30 – 40 тысяч кВт·ч ежемесячно.

Целью настоящей работы является анализ предпосылок (ЭТУ), позволяющих решить задачу выбора предпочтительной инициативы при управлении мощной электротермической установкой, чтобы осуществлять контроль и своевременную корректировку оптимальной рабочей точки для агрегата в целом.

Основная часть

Одним из путей преодоления трудностей, вызванных большим объемом информации и сложностью ее переработки, является «распараллеливание» процедур ее сбора и обработки. Однако децентрализация процесса обработки информации неизбежно требует определенного уровня децентрализации также и процедур принятия решений, т.е. создания самостоятельно функционирующих систем.

Появление в системе отдельных элементов (звеньев), способных за приемлемое время (и цену) обработать всю относящуюся к ним информацию, способную учесть все изменения конкретной ситуации и получающих право принятия самостоятельных решений по тем или иным вопросам, означает появление в системе иерархической структуры.

Если рассматривать САР для отдельного электрода как автономную систему, то ее удобно представить в виде двух подсистем: «окружающая среда» и собственно «энергопотребитель». Взаимодействие между ними осуществляется через потоки информации (управляющая часть) и энергии (силовая или управляемая часть). Обычно в первой подсистеме допускается регулирование мощности, отбираемой из сети, а во второй имеется возможность влияния на нагрузку, исходя из условий протекания технологического процесса и допустимых условий эксплуатации оборудования. Материально управляемая часть (подсистема) может быть представлена в виде источника питания, работающего на силовую активно – индуктивно – емкостную цепь.

Проведенная таким образом декомпозиция автономной системы применительно к отдельному электроду (а их три в агрегате) позволяет получить структурную схему энергопотребления, отделить энергетическую часть от информационной, вскрыть сущность процессов, происходящих в системе, выявить роль и место человека-оператора (лица принимающего решения – ЛПР) в процессе преобразования энергии [2]. Однако, вскрывая сущность процесса энергопреобразования и роль в нем отдельных звеньев, этот подход не вскрывает инструмента, позволяющего снизить уровень неопределенности при принятии решений.

Чтобы наметить путь для решения этой задачи, рассмотрим математические предпосылки для описания этих процессов. Математической моделью таких систем, характеризующих процессы энергопреобразования, являются нелинейные дифференциальные уравнения.

В настоящее время разработаны методы исследования нелинейных систем, близких к линейным. Для таких систем введением малого параметра выделяется «порождающая» (как правило, линейная) система, которая может быть легко исследована. Затем производится либо уточнение полученного решения методом последовательных приближений, либо решение отыскивается в форме рядов по малому параметру. В этой области имеется ряд фундаментальных результатов [3], [4].

Что же касается существенно нелинейных систем, то здесь нет такой же законченности результатов, как в теории квазилинейных систем. Тем не менее, и здесь имеются важные для практики результаты, концентрирующиеся около двух направлений:

1. Метод усреднения Н.М. Крылова, Н.Н. Боголюбова и Ю.А. Митропольского, а также примыкающие к нему методы гармонического баланса Л.С. Гольдфарба и гармонической линеаризации Е.П. Попова.

2. Методы фазового пространства и, в частности, метод точечных преобразований, разработанные А.А. Андроновым и его школой.

Остановимся подробнее на характеристике указанных методов. В «методе усреднения» за счет усреднения правых частей по явно входящему времени производится сведение системы к автономной, в результате чего достигается упрощение системы.

Для получения высших приближений используется некоторая замена координат, позволяющая в асимптотике учесть влияние членов с высшими степенями малого параметра. Именно эта замена координат, позволяющая упростить исходную систему (но не ее решения), является весьма выгодной при анализе автоматических систем.

Достоинством метода усреднения является также тот факт, что это – асимптотический метод. Дело в том, что формальные условия сходимости рядов по малому параметру настолько жесткие, что часто не выполняются на практике. Условия же сходимости асимптотических рядов значительно шире.

Алгоритм метода усреднения, основанный на замене координат, возможно перенести и на «системы с быстро вращающейся фазой» [5], а затем на системы с быстрыми и медленными движениями [6].

Подчеркнем, что метод усреднения не снимает трудностей исследования «порождающей» (усредненной) автономной системы, а аппарат его мало приспособлен для нужд теории автоматического управления.

Метод гармонической линеаризации основан на разложении решения в ряд Фурье. При этом нелинейность правой части учитывается при вычислении коэффициентов ряда в разложении нелинейной функции гармонического аргумента в ряд Фурье. Это, с одной стороны, обеспечивает соответствие метода природе нелинейной задачи, а с другой стороны – приводит к значительным вычислительным трудностям.

Эти трудности заметно возрастают при вычислении высших приближений (высших гармоник), когда громоздкость вычислений не позволяет выявить влияние параметров системы на процессы в ней. Поэтому метод гармонической линеаризации успешно применяется лишь в тех случаях, когда колебания в системе близки к гармоническим и достаточно ограничиться вычислением первой гармоники. В этом случае Е.П. Попову и его последователям удалось построить эффективные инженерные методики для исследования кусочно-линейных систем [7].

Метод фазового пространства (точнее его «рабочая часть» – метод точечных преобразований) позволяет исследовать практически любые системы второго порядка. При $n = 3$ вычислительные трудности метода становятся весьма существенными, а при $n > 3$ – зачастую непреодолимыми.

Таким образом, можно отметить, что ни один из указанных методов (в том виде, в котором они существуют сейчас) не позволяет «вручную» (или с применением малого объема вычислений на ЭВМ) исследовать автоматические системы пятого, шестого и седьмого порядков с несколькими сложными нелинейностями и сложной картиной переходного процесса. В то же время практическая необходимость в таком методе очевидна, поскольку численные расчеты в принципе не способны обеспечить решение таких необходимых в инженерной практике задач, как выявление общих качественных закономерностей системы, ее «физики», учесть изменение параметров и структуру управляющего устройства на процесс регулирования и поведение объекта.

Поэтому естественно возникает задача, связанная с применением новых методов для исследования систем высокого порядка. Последнее, например, оказывается возможным, если удается каким-либо образом расщепить систему на две подсистемы низкого порядка и исследовать каждую из подсистем независимо друг от друга. Такое расщепление системы составляет суть «метода разделения движений», при котором разделенные системы исследуются независимо друг от друга благодаря тому, что разделение движений осуществляется на основе предположения: переходный процесс по быстрым координатам (к положению равновесия, определяемому медленной координатой) происходит много быстрее, чем изменяется медленная координата. По этой упрощенной нелинейной модели дается качественная характеристика исходной системы [4].

Возможны и другие варианты метода разделения движений, но суть их одна – исходная система уравнений расщепляется на две подсистемы, из которых одна – система быстрых движений – может быть (приближенно) исследована независимо от другой – системы медленных движений. При этом упрощенная математическая модель нелинейной системы также является нелинейной.

В качестве одного из таких вариантов разделения движений проанализируем вариант, предложенный в работе [8]. Нелинейные процессы энергопреобразования, происходящие в активно – индуктивно – емкостной цепи отдельного электрода ДСП по аналогии с механикой представим как результат взаимодействия некоторых подсистем и введем понятие абсолютной, переносной и относительной систем отсчета для электрических сигналов.

Первая подсистема («источник питания» – ИП) выполняет функции окружающей среды для объекта и характеризует абсолютное движение, а результат взаимодействия ИП с объектом (подсистемой «нагрузка» – Н) характеризует относительное движение в системе в целом. Тогда переносное движение можно отождествить с подсистемой быстрых движений. Воздействуя на переменную ИП (напряжение), на нагрузку Н (ток) и изменяя параметры дуги, можно регулировать и определяющую переменную – фактическую мощность, поступающую в нагрузку. Она может быть измерена киловаттметром. При этом прибор точнее фиксирует медленную составляющую и сглаживает огибающую быстрых движений, характеризующих мгновенную мощность удвоенной промышленной частоты источника питания. Медленная составляющая, являющаяся главной в процессе управления, визуально лучше определяется и оператором, чем, например, напряжение или ток, измеряемые вольтметром и амперметром для отдельной фазы агрегата. Происходит это из-за расширения частотного диапазона сигнала, измеряемого киловаттметром как в сторону самых медленных движений, так и в сторону самых быстрых движений до удвоенной промышленной частоты, что и позволяет оператору точнее определять мощности в отдельных фазах агрегата и корректировать по ним положение общей рабочей точки для трех фаз агрегата в целом с меньшими запаздываниями при принятии решений. Интересно отметить, что полученный эффект разделения движений усиливается и за счет снижения уровня помех по мере приближения рабочей точки к траектории оптимального режима, являющейся экстремалью процесса энергопреобразования. При достижении оптимального режима быстрые движения в относительной системе отсчета себя почти не проявляют, несмотря на наличие переносного и абсолютного движений.

Возникает это из-за перехода к скрытым (по Гельмгольцу) движениям, сопровождающимся переходом к новым стационарным уровням кинетической и потенциальной энергии в системе. Выход изображающей точки на траекторию оптимального режима ведет к состоянию установившегося динамического равновесия в системе, при котором разница между средними значениями кинетической и потенциальной энергии становится минимальной. Это подтверждается и результатами моделирования [9], [10].

Предложенный вариант разделения движений на медленные и быстрые был опробован в промышленных условиях на ДСП – 12 ЗАО НКМЗ. Его внедрение позволило значительно уменьшить количество поломок электродов и сократить расход электроэнергии.

Выводы

Использование традиционных технологий построения систем управления мощными ЭТУ, например, на основе параметрической оптимизации, не дает желаемых результатов.

Поэтому для снижения уровня неопределенности при принятии решений оператором выбран новый метод – метод разделения движений на медленные и быстрые, позволяющий снижать уровень быстрых движений при приближении рабочей точки агрегата к оптимальной траектории.

Обусловлено это расширением диапазона представления анализируемых сигналов как в сторону низких частот, так и в сторону более высоких частот и снижением мерности пространства сигналов за счет перехода к единой определяющей переменной, а именно, к фактической мощности, поступающей в нагрузку от источника питания.

Работоспособность такого подхода к управлению мощными электротермическими установками подтверждена в лабораторных условиях на моделях, а практическая значимость – в промышленных условиях на дуговых сталеплавильных печах.

Литература

1. Зараковский Г.М. Закономерности функционирования эргатических систем / Г.М. Зараковский, В.В. Павлов. – М. : Радио и связь, 1987. – 232 с.
2. Цыганаш В.Е. Исследование и разработка структуры управления дуговой печи для производства слитков крупных поковок / В.Е. Цыганаш // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – С. 594-598.
3. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения / А.М. Ляпунов. – Гостехиздат, 1951.
4. Геращенко Е.И. Метод разделения движений и оптимизация нелинейных систем / Е.И. Геращенко, С.М. Геращенко. – М. : Наука, 1975. – 296 с.
5. Боголюбов Н.Н. Методы асимптотического приближения для системы с вращающейся фазой / Н.Н. Боголюбов, Н.Н. Зубарев // УМН. – 1955. – Т. VII.
6. Волосов В.М. Усреднение в системах дифференциальных уравнений / В.М. Волосов // УМН. – 1962. – Т. XVII. – Вып. 6.
7. Попов Е.П. Разделение управляемого процесса по частотам при приближенном исследовании нелинейных систем / Е.П. Попов // Техническая кибернетика. − 1967. − № 5.
8. Цыганаш В.Е. Системный анализ энергетических преобразований в технологической системе / В.Е. Цыганаш // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ : ДДМА, 2000. – С. 49-53.
9. Цыганаш В.Е. Определение огибающей на выходе узкополосного модулированного фильтра / В.Е. Цыганаш // Изв. вузов МВ и ССО ССР. Радиоэлектроника. – 1984. – Т. 27. – 11. – С. 89-91.
10. Цыганаш В.Е. Особенности двухэтапного решения оптимизационной задачи для сложной технологической системы / В.Е. Цыганаш // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. − № 6. – С. 105-109.

В.Е. Циганаш

Аналіз та вирішення задачі вибору кращої ініціативи при управлінні потужною електротермічною установкою

У статті сформульовані і проаналізовані основні проблеми вирішення задачі вибору кращої ініціативи управління потужною електротермічною установкою; розглянуті фактори, які дозволяють вирішити задачу; запропоновано варіант метода розподілення рухів на повільні і швидкі, який було перевірено в промислових умовах на дуговій сталеплавильній печі.

V.E. Tsyganash

The Analysis and Solution of the Initiative Choice Problem in Control of High-Power Electrothermal Setup

In the article the main points of solving of the initiative choice problem in control of high-power electrothermal setup are formulated and analyzed; the contributory factors to solve the problem are considered; the variation of the separation method is offered and tested industrially in the arc steels melting furnace.

Статья поступила в редакцию 23.03.2010